

Pulverizadores Gil, diseñados para un salto evolutivo

P. Barreiro, B. Diezma Iglesias, M. Garrido Izard y C. Valero.

LPF_TAGRALIA, UPM-CEI Moncloa.



En esta ocasión hemos verificado el funcionamiento de un pulverizador Gil Teleno de 18 metros de barra de pulverización. Julio Gil Águeda e Hijos entra en el mundo de los pulverizadores por la puerta grande: equipos muy pensados, modulares, adaptables a la demanda del usuario (casi cualquier configuración de las barras está accesible).

Nos encontramos con la mejor disposición de sus técnicos para verificar las prestaciones (en ensayos estáticos y de revisión), y unas condiciones meteorológicas adversas que aun así permitieron llevar a cabo un número de ensayos dinámicos interesantes: corrección del efecto de la velocidad de avance en la dosificación, efecto del uso de boquillas anti-deriva, y análisis de vibraciones. El análisis del diseño y los resultados estáticos y de campo se resumen a continuación.

Concepción, diseño y fabricación

Antonio Fernández es el director técnico e ingeniero responsable de producto en la empresa Julio Gil Águeda e Hijos.

El aspecto diferenciador de los pulverizadores Gil son sus barras de pulverización: chasis en aluminio atornillado con articulaciones en acero de alto límite elástico. Es una estructura en cercha sin soldar, donde las articulaciones están reforzadas y dis-

ponen de casquillos auto-lubricantes. Es importante destacar este hecho, pues casi todos los fabricantes apuestan por aluminio soldado, mientras que los pulverizadores Gil se decantan por unos perfiles de aluminio (diversos según el largo) refrentados y roscados, para que al montarlos queden perfectamente alineados. Además, en el propio diseño del perfil de aluminio encontramos espacio para alojar los portaboquillas, que quedan protegidos en el interior del perfil.

Las bombas de membrana (baja presión y alto caudal) se han seleccionado por su buena adaptación a los abonos líquidos, mientras que la electrónica de control cuenta con mandos de sección con retorno calibrado y caudalímetro electrónico suficientemente separado del filtro de impulsión y de los mandos para una medida sin perturbaciones.

Por defecto los pulverizadores Gil están equipados con portaboquillas de tipo revólver (seis posiciones) y montaje en bayoneta de manera que sus tres tipos de boquillas (ISO) de caudal normalizado: amarillas (0,8 l/min), azules (1,2 l/min), y rojas (1,6 l/min)



(a 3 bar), quedan perfectamente posicionadas respecto a la barra. Gil opta por eliminar los filtros de las boquillas (no imprescindibles según normativa de inspección), en la convicción de que la combinación de filtro de aspiración e impulsión (50 y 80 mesh, respectivamente) serán suficientes, y en el convencimiento de que es mejor que una boquilla se tape claramente (se identifica casi de inmediato) que la lenta y paulatina

colmatación que deteriora la uniformidad del conjunto; en todo caso lo mejor es plantearse la sustitución de boquillas todos los años (no comprarlas muy caras y sustituirlas más). Con toda seguridad expertos en pulverización disientirán de la eliminación de filtros de boquilla.

En Gil son conscientes de que algunos fabricantes incluyen en sus diseños filtros de sección, pero los rechazan por las pérdidas de carga (presión) que hacen difícil mantener una presión constante e igual en todos los ramales, imprescindible para una correcta dosificación.

El sistema de flotación pasivo de las barras en forma de trapecio articulado es un medio de estabilización reconocido internacionalmente, pero en este caso, dispone de un cilindro de cámaras compensadas (simple vástago) de manera que el volumen desplazado durante el desplazamiento a izquierdas y derechas sea el mismo. El trapecio tiene un solo grado de libertad (dirección de movimiento) que controla perfectamente el aplomado del trapecio, en vez de dos cilindros como en otras marcas, pensado para facilitar el control automático, un medido paso previo hacia un control activo.

El bastidor general de los pulverizadores se puede regular en altura independientemente del tractor para facilitar una máxima compacidad del sistema en transporte

(anchos superiores a 18 m), y la extensión y plegado se puede llevar a cabo en todas las secciones, con una pareja de salidas auxiliares hidráulicas (1 SCV izda. y 1 SCV dcha.), empleando para ello válvulas secuenciales. Cuando disponemos de regulación adicional en altura, precisamos una tercera salida auxiliar o bien se monta un joystick para conmutar el uso de una de las dos existentes.

Los marcadores de espuma están bien posicionados (a 25 cm de cada extremo de la barra), aunque este hecho resulta incómodo pues supone un voladizo adicional que puede dar problemas en lugares de gálibo ajustado. Cabe preguntarse por qué recurrir a estos marcadores, si ya disponemos de autoguiados de gran precisión, la respuesta es clara: allí donde varias generaciones (abuelo, padre, hijo) comparten maquinaria debe haber sistemas a gusto de cada usuario. Estos pulverizadores pensados en un perfil de agricultor profesional (sector medio-alto del mercado), reclama avances en la mecanización pero aún es remiso a pagar por equipamientos Isobus, y siempre queda la posibilidad de adquirir el pulverizador y adaptarlo a un sistema comercial de control de dosis variable, sin necesidad de ninguna adaptación adicional.

Características técnicas

El pulverizador ensayado pertenece a la gama de equipos suspendidos de la serie Teleno, en la que podemos encontrar modelos con depósitos de polietileno de alta densidad con una capacidad comprendida entre 1.000 y 2.000 litros y barras de 12 a 24 m. En estos ensayos se trabajó con un pulverizador con un depósito de 1.500 litros y una barra de 18 m dividida en seis tramos mecánicos (siete tramos contando con el cuerpo central) y cinco secciones de pulverización. En las dos secciones extremas se incorporan seis boquillas y en las centrales ocho boquillas.

Todos los pulverizadores Teleno están



Proceso de despliegue de la barra de pulverización.

FIGURA 1. Efecto del cierre de secciones sobre la presión del circuito hidráulico en unas electroválvulas en las que no se ha efectuado el control de retorno (rojo) respecto a otras taradas (claro).

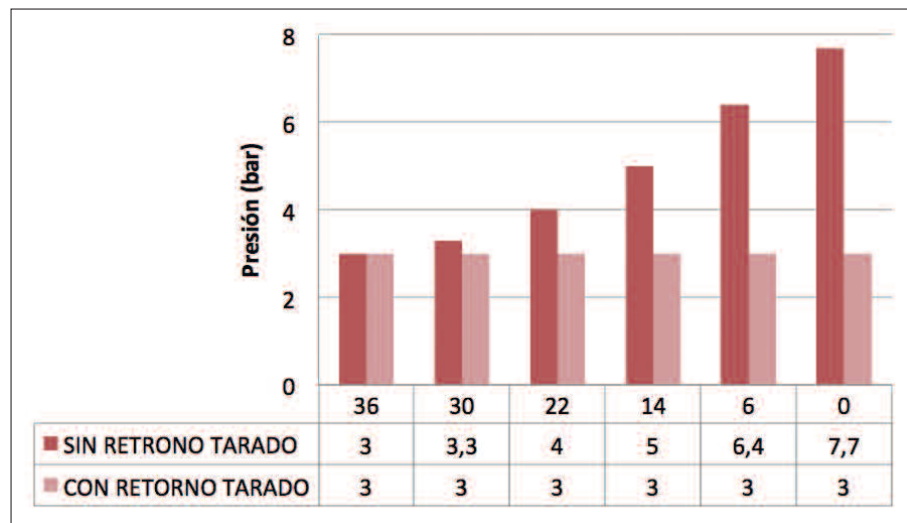
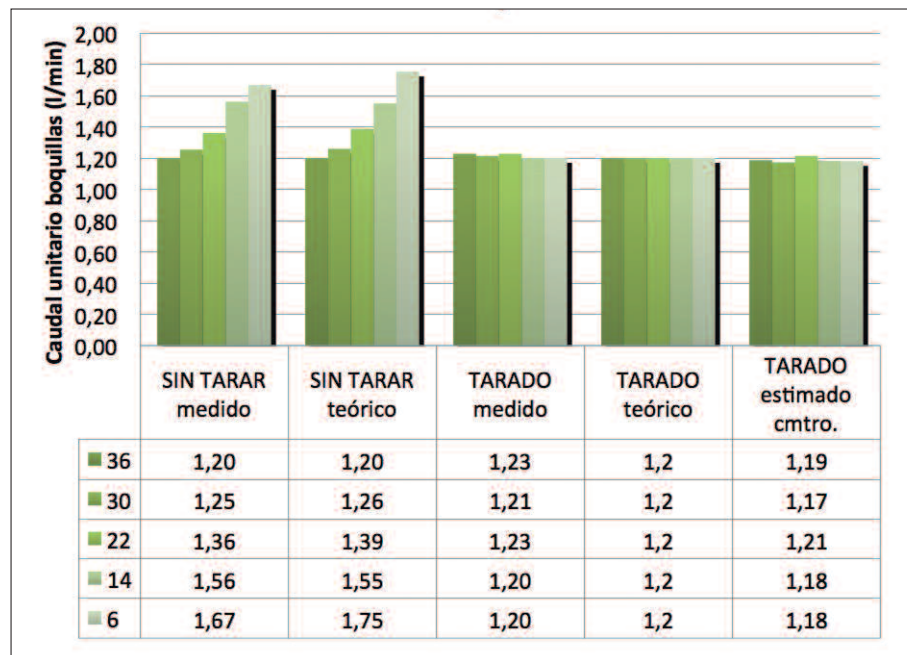


FIGURA 2. Efecto del cierre de secciones sobre el caudal unitario de las boquillas en unas electroválvulas en las que no se ha efectuado el control de retorno respecto a otras taradas.



equipados de serie con: suspensión mecánica mediante resortes helicoidales; plegado y elevación hidráulicas; un depósito para la incorporación del producto y lavacircuito; portaboquillas tipo trijet; bom-

ba de membrana de baja presión y alto caudal y bloqueo manual. La unidad ensayada disponía también de una unidad de electroválvulas sectoriales y un sistema de control de caudal proporcional al avan-

ce, compuesto por el monitor Bravo 180S de Arag, una antena GPS y un caudalímetro digital.

Los pulverizadores Gil pueden ser empleados toma de fuerza económica (tdf), pues de este modo se reduce el consumo de combustible, las vibraciones y se mejora el confort. Todavía a día de hoy en tractores de gama media-alta, como el ensayado (JD 7730), se echa de menos esta opción.

Verificación estática del caudal

La primera prueba que se ha efectuado con el pulverizador Gil Teleno de 18 m ha sido la verificación en estático del caudal de salida de las boquillas (36), distribuidas en cinco secciones (6-8-8-8-6), que no hay que confundir con las seis mecánicas de plegado (siete tramos contando con el cuerpo central). Gil dispone de barras de cinco, siete y nueve tramos físicos.

El circuito de mando dispone de una válvula de tres vías: cerrado, agitación y trabajo, y cinco solenoides (con control de retorno tarado) para el corte individual de cada sección. El manómetro elegido con una esfera de 11 cm, para que sea perfectamente visible a cierta distancia, y un rango de 0-16 bar para un ajuste fino; dispone de una válvula de seguridad tarada a 15 bar por si los distintos modos de control fallaran. Dispone también de un regulador manual (pomo verde, heredado de los equipos sin control electrónico) que habitualmente se tara en 9 bar pues es el sistema electrónico de regulación de la presión (ajustado desde el monitor en cabina) el que tendrá el mando del equipo. Finalmente, el circuito de mando dispone de un caudalímetro digital que evalúa el caudal global que expulsan las boquillas.

Las válvulas solenoides son modulares de manera que el cuerpo se puede montar con cualquier número de ellas según el diseño. El sistema de retorno tara-

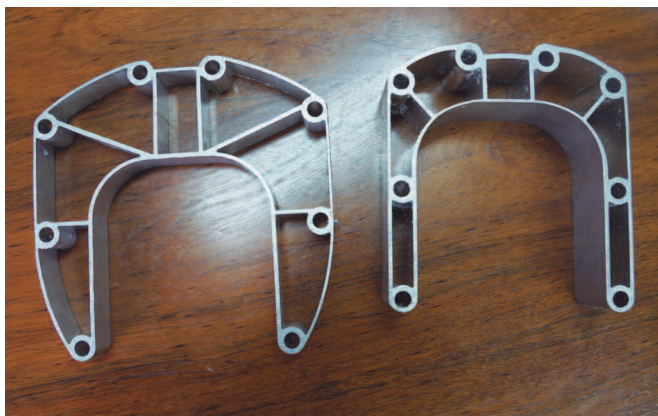


Foto izquierda. Detalle de los perfiles de aluminio para barras largas (izda) y cortas (drcha). **Foto derecha:** Vista inferior del portaboquillas Trijet.

do de cada solenoide, permite que la presión del circuito se mantenga constante independientemente del número de secciones que se encuentren abiertas en cada instante.

El procedimiento de ajuste, sólo ha de ser realizado una vez (a la entrega), y es sencillo: colocar los relojes de las válvulas en la posición intermedia (5), seleccionar la presión de trabajo (3 bar), cortar las secciones una a una de izquierda a derecha, y en cada paso corregir el reloj de la válvula cerrada para que la presión general del circuito (que se habrá visto incrementada) retorne al valor nominal (3 bar), posteriormente abrir una a una las secciones y comprobar que la presión permanece siempre estable.

La primera pregunta que surge es: qué ocurre cuando se trabaja con solenoides sin retorno tarado, o cuando no se ha efectuado este primer proceso de calibración. La **figura 1** muestra que la presión en el circuito se incrementa de 3 a 7,7 bar cuando se trabaja sin el retorno tarado, mientras que permanece perfectamen-

te constante cuando la calibración es correcta. Este hecho tiene un efecto muy significativo sobre el caudal de salida (relación cuadrática con la presión).

La **figura 2** muestra el caudal teórico de las boquillas ISO azules (1,2 l/min a 3 bar) y el verificado mediante aforamiento con jarra en varias boquillas, y estimado con el caudalímetro digital. La conclusión es clara, no emplear solenoides de retorno tarado provoca grandes distorsiones en el caudal de las boquillas (hasta un 39% más) cuando se abren y cierran secciones, aspecto verificable tanto por el caudal medido por aforamiento, como por la teoría de pulverización hidráulica (rela-

ción cuadrática con la presión) como por el caudal estimado por el caudalímetro digital. Un incremento del 39% en caudal supondría un aumento equivalente en dosis aplicada. Por tanto, el hecho de que Gil haya optado por montar esta tecnología en equipos con múltiples secciones es muy relevante en la calidad final.

Por otra parte, que el caudalímetro digital ofrezca datos análogos a los medidos por aforamiento y a los teóricos indica que es una medida solvente para ser integrada en un sistema de caudal proporcional a la velocidad de avance como veremos a continuación.

Localización de exteriores para los ensayos de campo

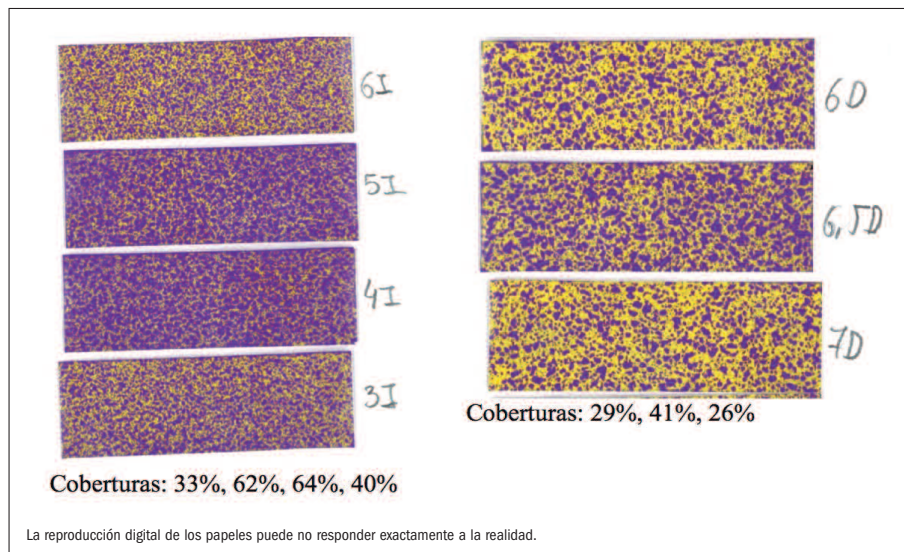
En los días inmediatamente anteriores al ensayo llovió abundantemente, de manera que resultaba imposible entrar en suelo agrícola. Había que buscar una zona de ensayo con suelo firme y orografía ondulada para verificar la estabilidad de las barras de pulverización.

El día del ensayo (14°C y 80% HR) el tiempo era húmedo y con amenaza de lluvia decreciente, a la vez que la velocidad del viento máxima alcanzó en rachas valores de 2-3 m/s, es decir, las ramas pequeñas y algunas hojas de arbustos se mueven y por tanto las condiciones son



Monitor de control Bravo 180S (**drcha**) y sensor de rueda modificado (**izda**).

FIGURA 3. Efecto del tipo de boquilla: normal (izda) y anti-deriva (derecha), ambas ISO azul (1,2 l/min a 3 bar).



desfavorables a la pulverización. Por ello, se sustituyeron tres boquillas del ramal derecho por boquillas anti-deriva (tipo venturi) del mismo caudal (ISO azul), realizándose todos los ensayos de campo con esta disposición.

Efecto del empleo de boquillas anti-deriva

Es importante destacar que las boquillas anti-deriva están pensadas para salvar una situación pero no consiguen el tamaño de gota y cobertura indicado para muchos tratamientos por lo que han de ser empleadas según el criterio de un asesor, que a día de hoy es imprescindible en la selección del tratamiento y del modo de aplicación.

La **figura 3** muestra el efecto del tipo de boquilla: anti-deriva o normal, sobre el tamaño de gota y el nivel de cobertura (5). Se observa claramente que el objetivo de la boquilla es evitar la pérdida de producto (mejorar la recuperación) manteniendo el caudal, a expensas del tamaño de gota, es decir, la filosofía es que se recupera más (que no se lleva el viento)

pero con una distribución más grosera. En el ensayo de distribución transversal se trabajó a una velocidad media 4,27 km/h

CUADRO I.

Ensayo de verificación del sistema de control de caudal proporcional a la velocidad de avance.

		V. reak (km/h)	N	St (ha/h)	Qb (l/min)	qb (l/min)	Dosis (l/ha)	Error (%)
Long-manual	Tramo 1	7,22	11	12.993	41,93	1.165	193,6	-35,5
	Tramo 2	4,89	25	8.798	41,73	1.159	284,6	-5,1
Long-auto	Tramo 1	4,64	16	8.348	34,63	0,962	248,9	-17,0
	Tramo 2	6,11	24	11.003	60,92	1.692	332,2	10,7



Proceso de ajuste del retorno para tarar la presión del circuito a un valor constante.

en modo manual (caudal 1,2 l/min a 3 bar) de manera que la dosis real aplicada fue de 285 l/ha (la dosis inicialmente elegida fue 300 l/ha).

Caudal proporcional a la velocidad de avance

El pulverizador Gil Teleno de 18 m dispone de un modo de funcionamiento manual (caudal constante) y otro automático (caudal proporcional a la velocidad real de avance). Para ello, dispone de un sistema de control que puede determinar la velocidad real (*ground speed*) bien mediante una antena GPS o bien mediante un sensor inductivo de rueda (opción más barata). En este ensayo empleamos la primera opción y verificamos posteriormente la calidad del segundo.

Cuando se trabaja a presión constante cualquier cambio de velocidad del vehícu-

CUADRO II.

Resultados de recuperación de caldo en papel hidrosensible (cobertura) en el ensayo de verificación del sistema de control de caudal proporcional a la velocidad de avance.

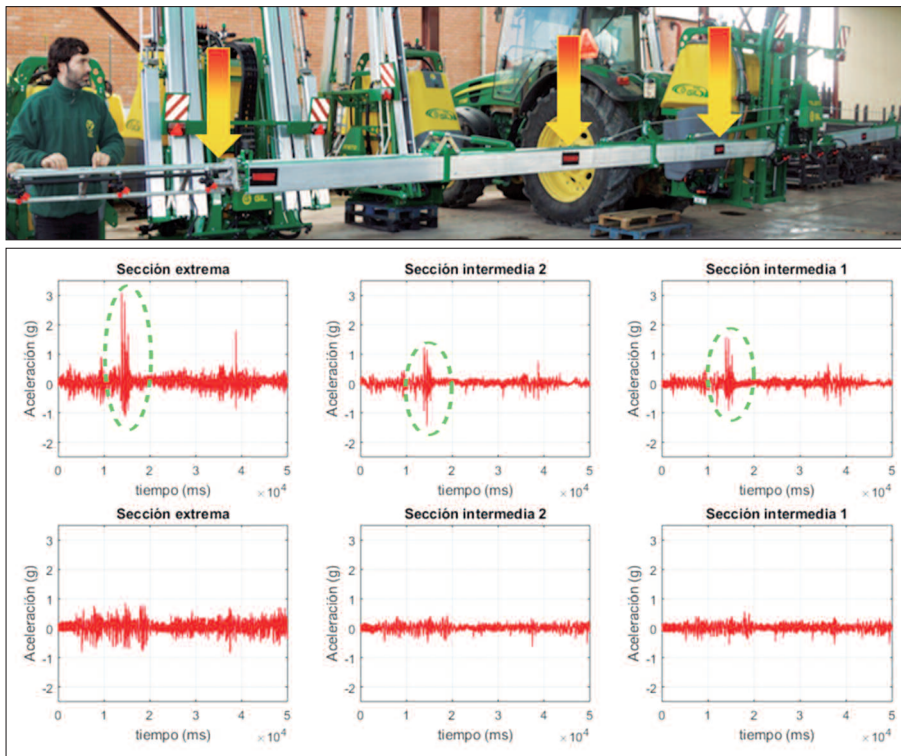
		CAMBIO											
		Tramo 1			Tramo 2								
MANUAL	Distancia (m)	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	
	Velocidad (km/h)	7,30	7,30	7,00	5,90	5,00	4,70	4,50	5,00	5,00	5,00	4,70	
	Cobertura (%)	57,6	45,9	65,2	81,9	93,8	90,4	69,8	95,2	94,9	100,0	93,2	
		Tramo 1			Tramo 2								
AUTOMATICO	Distancia (m)	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40
	Velocidad (km/h)	5,0	5,2	4,8	7,1	7,0	6,8	7,2	7,0	8,1	6,6	6,1	7,0
	Cobertura (%)	46,8	53,3	52,6	71,6	59,0	71,5	44,2	35,7	78,3	47,5	46,2	59,7

lo incide en la dosificación $[D(l/ha)=qb \cdot 600/(d \cdot v)]$, de manera que a más velocidad se reduce la dosis aplicada y al revés. En cambio cuando se trabaja en modo automático el sistema de control varía la presión para que el caudal instantáneo sea el requerido a la dosis pre-establecida (en nuestro caso 300 l/ha). De acuerdo con la

tabla de las boquillas ISO, una boquilla azul descarga 1,2 l/min a 3 bar lo que supone (según la fórmula anterior) desplazarse a 4,8 km/h para distribuir 300 l/ha. El **cuadro I** proporciona los valores medios de velocidad real (km/h), capacidad de trabajo teórica (ha/h), media del caudal instantáneo registrado por el caudalímetro

(l/min), caudal unitario medio de las boquillas ($qb=Qb/36$) y dosis aplicada (l/ha). En ella se observa que la dosis más ajustada se obtiene cuando el vehículo va muy cerca de la velocidad planificada (4,8 km/h) inicialmente. También se observa que en modo manual una variación de 4,8 a 7 km/h provoca una reducción esperable de

FIGURA 4. Aceleraciones (g) verticales registradas a lo largo del lateral izquierdo de la barra en los puntos señalados; en la fila superior con baja presión en el desplegado, y en la fila inferior con alta presión en el desplegado.



la dosificación del 35,5%, mientras que en modo automático un salto de 4,8 a 6,1 km/h sufre una sobredosificación del 10,7%, es

decir, el sistema de control ha atenuado el impacto del cambio de velocidad, pero ha reaccionado aumentando demasiado el

caudal total. Claramente el sistema de control espera variaciones suaves de velocidad y no bruscas.

El cuadro II muestra el nivel de cobertura del papel hidrosensible (zonas azules sobre fondo amarillo) registrado a lo largo de la besana de trabajo (11 y 12 puntos de recogida en modo manual y automático respectivamente), justo entre las ruedas del tractor (recordamos que los valores de cobertura se identifican mediante análisis de imagen de los papeles hidrosensibles). Lo más relevante en la tabla es la variación significativa de la cantidad de caldo recuperado cuando se producen cambios de velocidad en modo manual (de verde -56%- a rojo -90%-); se recupera más al pasar de una velocidad alta (menos dosis) a una velocidad baja (más dosis). En el modo automático, las cantidades recuperadas de caldo son mucho más estables (color más uniforme) a pesar de un salto de velocidad equivalente (esta vez de 4,6 a 6,11 km/h) aunque sí se identifican las fluctuaciones propias de un



Detalle de trabajo. Las condiciones de viento indican deriva (zona izquierda). En el lateral derecho, con boquillas anti-deriva, no se aprecia la pérdida de caldo.



Detalle de la compacidad del equipo en modo transporte.

sistema de control que reacciona ante un pulso brusco (cel-das amarillas). Es importante recordar que en las válvulas so-lenoides habituales el tiempo de respuesta del sistema puede ser de hasta 3 s.

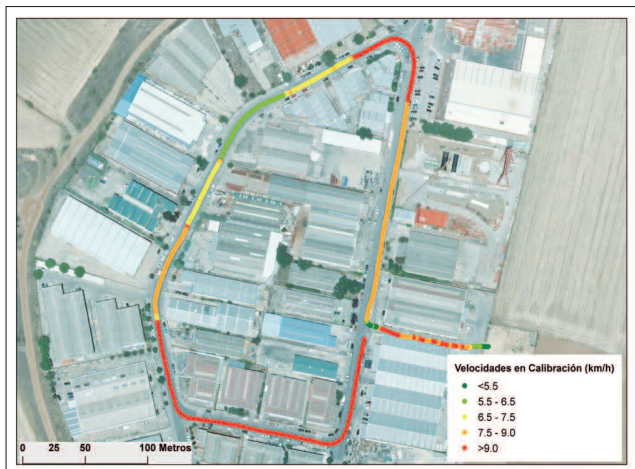
Registros de vibraciones en la barras

Hemos empleado varios acelerómetros para ensayar vibracio-nes, evaluando la presión en el circuito de despliegue (rígido o sin presión). El fabricante recomienda que al desplegar la barra se aporte suficiente presión al hidráulico para que la barra que-de rígida, y por ello se han registrado vibraciones verticales en

publicidad

1/2 vertical

FIGURA 5. Recorrido empleado para validar la calibración del sensor de rueda.



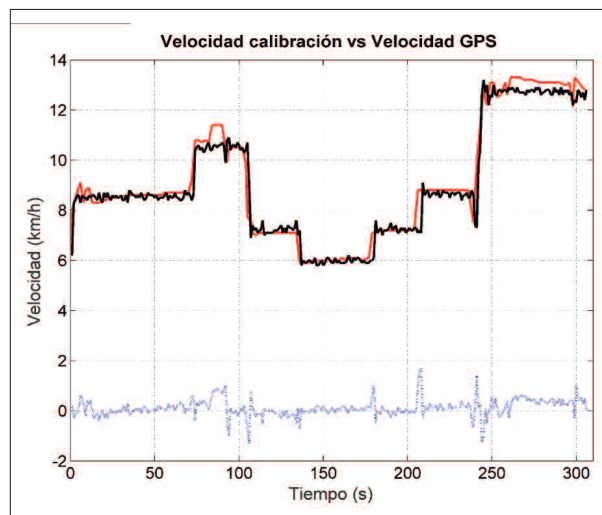
cuatro puntos: la última sección del lateral izquierdo de la barra de pulverización, dos puntos intermedios del mismo lateral de la barra (a 4,5 m y 1,5 m del punto central respectivamente), así como en el bastidor. La información aportada por los acelerómetros se expresa en número de veces la aceleración de la gravedad (g , m/s^2).

Los mayores niveles de aceleración se identifican en la sección final del pulverizador, en la zona en la que la estructura de la barra pasa a ser tubular. En las secciones intermedias, con la estructura del perfil de aluminio característico de esta familia de pulverizadores, las vibraciones son menos acusadas y no se incrementan sustancialmente a medida que nos alejamos del centro de la máquina (figura 4). Estas grandes vibraciones desaparecen cuando la barra está rígidamente desplegada.

Consideraciones sobre el método de flotación

El trapecio articulado, permite un suave y delicado aplomado de la barra que en ocasiones resulta excesivo en amplitud. Con toda seguridad, cuando el trapecio pase a ser un modo de flotación activo (accionado por el hidráulico) esta flotación excesiva se podrá ver compensada. Mientras tanto, el empleo de patines en barras de gran longi-

FIGURA 6. Comparativa de los perfiles de velocidad del sensor de rueda y del GPS instalado por el LPF_Tagralla.



tud es una solución interesante aportada por los pulverizadores Gil.

Comparación de los sensores de velocidad

Como se ha indicado, Gil dispone de dos sistemas para determinar la velocidad: un sensor GPS y un sensor de rueda. Dada la dificultad que supone la instalación del segundo y el elevado coste del primero, Gil ha buscado una solución intermedia que supone instalar una antena y una pequeña

caja que traduce la señal de velocidad a los pertinentes trenes de pulsos del sensor de rueda, de manera que puede ser interpretada por el monitor sin modificaciones. Para ello hay que efectuar una calibración en el momento de instalación que supone avanzar 100 m y registrar el número de pulsos (en este caso 12966), 0,77 cm/pulso. Nosotros realizamos posteriormente un recorrido a varias velocidades (figura 5) para comprobar la idoneidad del método propuesto.

La figura 6 muestra una comparativa de la velocidad reflejada por el monitor con la antena una vez calibrado el sensor de pulsos (rojo) y las medidas del GPS instalado por el LPF_Tagralla. Se observa una gran correspondencia que tan sólo registra un cierto sesgo a partir de 10 km/h.

Desplazamientos por caminos rurales

El pulverizador Gil Teleno, por ser suspendido, resulta de muy fácil manejo en caminos rurales. La figura 7 muestra el desplazamiento desde la fábrica a la zona de ensayo, indicando en colores la velocidad de avance.

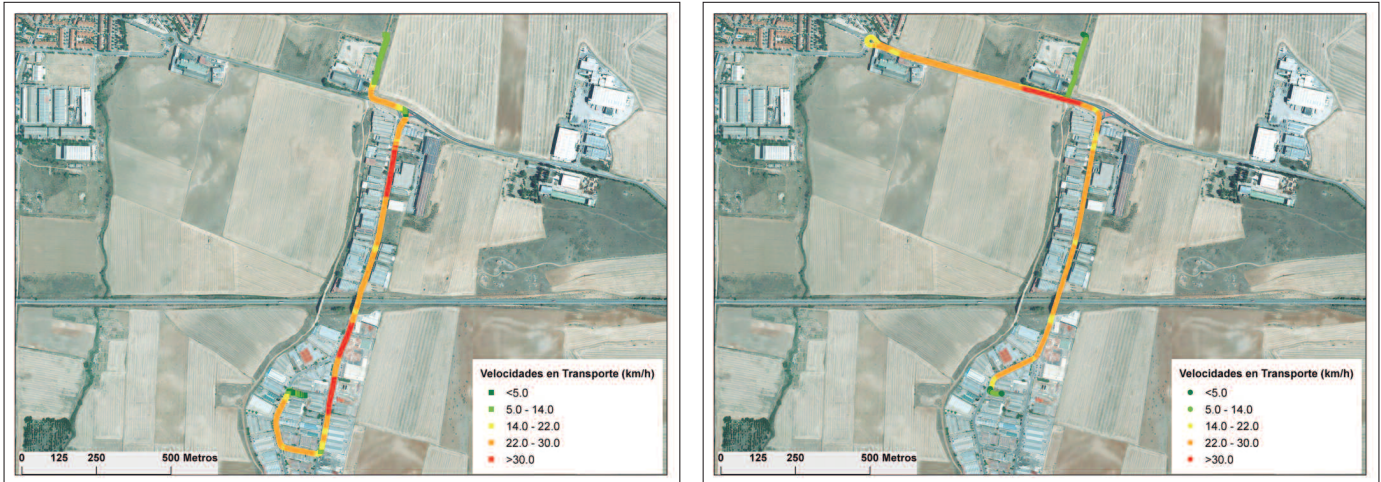
A modo de conclusión

Los pulverizadores Gil de la serie Teleno han sido diseñados para durar. Robustos y delicados, destacan por su barra de pulverización en perfil de aluminio atornillado. El circuito hidráulico general tiene cuatro posiciones para cuatro tareas: trabajo, incorporación de producto activo, hidrocargado y limpieza de filtro, y lavado del circui-



Cuerpo de válvulas solenoides con retorno tarado (rojo), válvula de tres vías y regulador de presión manual (pomo verde).

FIGURA 7. Desplazamientos desde la fábrica al lugar de ensayo. Por tratarse de un equipo suspendido la velocidad de desplazamiento y la maniobrabilidad son elevados.



Arriba: El sistema de flotación mediante trapecio articulado en ocasiones muestra una fluctuación excesiva (usar patines). **Abajo:** Detalle del despliegue con suficiente presión y válvulas anti-deriva entre las marcas.

to. El diseño en el acceso al depósito de mezcla y la colocación del lavamanos indican que está pensado para un trabajo seguro y cómodo.

Las válvulas para el control de secciones (modulares) son de una enorme fiabilidad, y el sistema de retorno tarado garantiza las condiciones de funcionamiento independientemente del número de secciones activas, aspecto muy importante de cara a su empleo en una estrategia de dosis variable.

El monitor de control es sencillo pero muy efectivo y ha sido posible verificar el beneficio de emplear un sistema con caudal proporcional a la velocidad real respecto a un sistema de caudal constante. Además, es compatible con sistemas de control de dosis variable por tramos.

En este trabajo aportamos las bases teóricas del cálculo para quienes quieran comprobar los efectos de los cambios de velocidad sobre la dosificación, y hemos verificado el efecto mediante la recuperación en el suelo con papel hidrosensible.

Un análisis detallado de las vibraciones indica el gran acierto del perfil de aluminio elegido, y la idoneidad de las recomendaciones de Gil en términos de despliegue de las barras y del sistema de flotación. ■